

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-105395

(43)Date of publication of application : 11.04.2000

(51)Int.Cl. G02F 1/35

(21)Application number : 11-034769

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 12.02.1999

(72)Inventor : AKASAKA YOICHI
EMORI YOSHIHIRO
NAMIKI SHU

(30)Priority

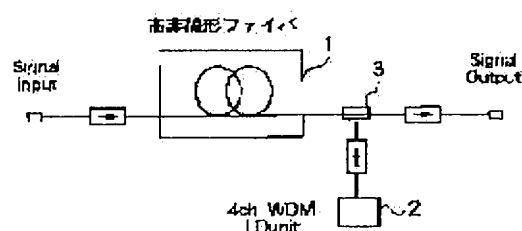
Priority number : 10210822 Priority date : 27.07.1998 Priority country : JP

(54) RAMAN AMPLIFICATION METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a Raman amplification method capable of uniformly amplifying wavelength multiplexed light and suitable for unitization.

SOLUTION: In this Raman amplifying method for Raman amplifying rays of signal light by propagating two or more exciting light rays and signal light rays differing in the peak wavelength to an optical fiber 1 being a Raman amplifying medium, the optical power of the exciting light ray is made higher as its peak wavelength is shorter, that is, the optical power of the exciting light ray whose wavelength is shorter than the center wavelength of the shortest wavelength and the longest wavelength in two or more exciting light rays made incident on a DCF (Dispersion Compensated Fiber), and the signal light of 1500 nm-1600 nm is propagated to the optical fiber 1 and amplified. An optical fiber having high non-linearity is used as a Raman amplifying medium.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-105395

(P2000-105395A)

(43) 公開日 平成12年4月11日(2000.4.11)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 2 F 1/35

識別記号

5 0 1

F I

G 0 2 F 1/35

テーマコード(参考)

2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平11-34769

(22) 出願日 平成11年2月12日(1999.2.12)

(31) 優先権主張番号 特願平10-210822

(32) 優先日 平成10年7月27日(1998.7.27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 赤坂 洋一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 江森 芳博

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100076369

弁理士 小林 正治

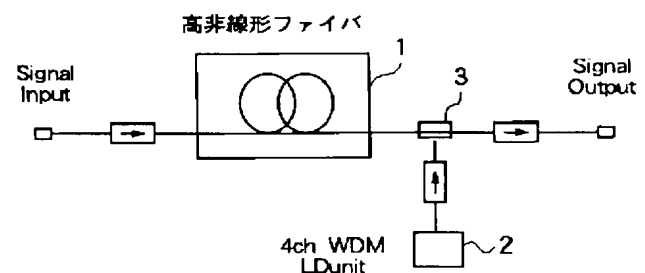
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラマン増幅方法

(57) 【要約】

【課題】 ファイバ長が長く、ユニット化が難しい。また、高非線形性光ファイバを用いると波長依存性が大きくなる。

【解決手段】 ピーク波長が異なる2以上の励起光と信号光とをラマン増幅媒体である光ファイバに伝播して、前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅方法において、ピーク波長が短い励起光ほど光パワーを高くする。DCFに入射される2以上の励起光のうち最短ピーク波長と最長ピーク波長の中心波長よりも短波長の励起光のパワーを高くした。約1500nm～約1600nmの信号光を光ファイバに伝播して増幅する。ラマン増幅媒体としての光ファイバに非線形性の高いものを用いた。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】ピーク波長が異なる 2 以上の励起光と信号光とをラマン増幅媒体である光ファイバに伝播して、前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅方法において、ピーク波長が短い励起光ほど光パワーを高くすることを特徴とするラマン増幅方法。

【請求項 2】ピーク波長が異なる 2 以上の励起光と信号光とをラマン増幅媒体である光ファイバに伝播して、前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅方法において、2 以上の励起光の最短ピーク波長と最長ピーク波長の中心よりも短波長側の励起光の光パワーを高くすることを特徴とするラマン増幅方法。

【請求項 3】ピーク波長が異なる 3 以上の励起光と信号光とをラマン増幅媒体である光ファイバに伝播して、前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅方法において、3 以上の励起光の最短ピーク波長と最長ピーク波長の中心よりも短波長側のピーク数が長波長側のピーク数よりも多く、短波長側の励起光のトータルパワーが長波長側の励起光のトータルパワーよりも大きいことを特徴とするラマン増幅方法。

【請求項 4】約 1500 nm～約 1600 nm の信号光を光ファイバに伝播して増幅することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載のラマン増幅方法。

【請求項 5】ラマン増幅媒体としての光ファイバに非線形性の高いものを用いることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 記載のいずれかに記載のラマン増幅方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は誘導ラマン散乱現象を利用して信号光を増幅するラマン増幅方法に関するものであり、波長分割多重光の増幅に適するものである。

【0002】

【従来の技術】誘導ラマン散乱現象を用いて信号光を増幅するラマン増幅方法では増幅媒体としての光ファイバに通信用光ファイバを用い、分布型増幅方式においては通信用光ファイバの広帯域で低損失で且つ波長依存性の少ない損失特性の 1400 nm～1600 nm 帯域に励起光の波長と信号光の波長とを配置する。この場合、増幅媒体である光ファイバの波長依存性損失は 1380 nm にピークを持つ OH に起因するロスを考慮しても、最大値と最小値の格差は上記帯域内で略 0.2 dB/km 以下である。また、この場合、波長多重励起方式を用いて各励起光強度に差をつけなくても、各励起光で増幅される信号光の増幅強度はほぼ同等であり、通信上、特に問題はない。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記ラマン増幅方法を EDFA（希土類添加ファイバ増幅器）のような増幅ユニットで行う場合、必要な利得を得るためにはファイバ長が 10 km 程度～数十 km 程度必要で

あることから、光ファイバの収納性に問題がでてくるため、できるだけ短くするのが望ましい。ファイバ長は非線形性の大きい光ファイバを用いることで短くすることができるが、非線形性の大きい光ファイバは、一般に 1380 nm 帯の OH に起因する伝送損失を低減するのが難しく、また、レイリー散乱係数が通信用ファイバより遥かに大きくなり、結果として、上記波長範囲内でのファイバ損失の最大値と最小値の差は 1.5～10 dB/km と非常に大きくなってしまう。これは増幅媒体としての光ファイバを 3 km 使う場合に、励起光の波長による損失差が 4.5 dB から 30 dB あることを意味しており、強度の等しい励起光では波長多重信号光を一様に増幅することができないことになる。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の目的は、波長多重光を均一に増幅することができ、ユニット化に適したラマン増幅方法を提供することにある。

【0005】本発明の第 1 のラマン増幅方法は、ピーク波長が異なる 2 以上の励起光と信号光とをラマン増幅媒体である光ファイバに伝播して、前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅方法において、ピーク波長が短い励起光ほど光パワーを高くすることを特徴とするものである。

【0006】本発明の第 2 のラマン増幅方法は、ピーク波長が異なる 2 以上の励起光と信号光とをラマン増幅媒体である光ファイバに伝播して、前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅方法において、2 以上の励起光の最短ピーク波長と最長ピーク波長の中心よりも短波長側の励起光の光パワーを高くすることを特徴とするものである。

【0007】本発明の第 3 のラマン増幅方法は、ピーク波長が異なる 3 以上の励起光と信号光とをラマン増幅媒体である光ファイバに伝播して、前記信号光をラマン増幅するためのラマン増幅方法において、3 以上の励起光の最短ピーク波長と最長ピーク波長の中心よりも短波長側のピーク数が長波長側のピーク数よりも多く、短波長側の励起光のトータルパワーが長波長側の励起光のトータルパワーよりも大きいことを特徴とするものである。

【0008】本発明の第 4 のラマン増幅方法は、前記第 1 乃至第 3 のラマン増幅方法において、約 1500 nm～約 1600 nm の信号光を光ファイバに伝播して増幅することを特徴とするものである。

【0009】本発明の第 5 のラマン増幅方法は、前記第 1 乃至第 4 のいずれかのラマン増幅方法において、光ファイバに非線形性の高いものを用いることを特徴とするものである。

【0010】

【発明の実施の形態】（実施形態 1）本発明のラマン増幅方法の実施形態を図 1～図 4 に基づいて詳細に説明する。この実施形態では図 1 のラマン増幅媒体 1 に非線形

10

20

30

40

50

性の高い分散補償ファイバ（DCF）を用い、それに励起光源2から発振される励起光を合波器3を用いて入射し、伝送する。この場合、励起光源2として図2に示す様に4つの励起光源（半導体レーザ）、ファイバブラッググレーティング（FBG）、偏波合成器（PBC）、WDM等から構成される4chWDMLDユニットを使用した。図2の夫々の半導体レーザは発振する励起光のピーク波長（中心波長）が異なり、具体的には1435nm、1450nm、1465nm、1480nmに最大ピークを持つ励起光を発振する。これら励起光はDCFにより伝送されてくる信号光にラマン利得を与えて信号光を増幅する。この場合、各励起光はその周波数より約13THz低い周波数、即ち約100nm長い波長に*

*利得のピークを有する。

【0011】6kmの長さのDCFの一端から同DCFに1500nm～1600nmの信号光を伝播し、そのDCFに1400nm、1420nm、1440nm、1460nm、1480nmの励起光を入射して、前記信号光をラマン増幅する場合に、入力信号光と同DCFの他端から出力される出力信号光（ラマン増幅された信号光）とを調べて、波長とDCFの総損失を調べた。表1は波長とDCF総損失との関係をまとめたものであり、波長依存性を持つことが明らかである。

【0012】

【表1】

波長 (nm)	単位損失 (dB/km)	総損失 (dB)
1400	6.76	40.56
1420	3.28	19.68
1440	1.74	10.44
1460	1.16	6.96
1480	0.85	5.10
1500	0.69	4.14
1520	0.62	3.72
1540	0.57	3.42
1560	0.55	3.30
1580	0.54	3.24
1600	0.59	3.54

【0013】ここで半導体レーザの受ける損失と、半導体レーザによって約100nm長波長側で増幅される信号光の受ける損失とを併せて効果総損失として考えると、波長と効果総損失の関係は表2のようになる。

【0014】

【表2】

波長 (nm)	効果総損失 (dB)
1400	40.56+4.14 44.7
1420	19.68+3.72 23.4
1440	10.44+3.42 13.86
1460	6.96+3.30 10.26
1480	5.10+3.24 8.34

【0015】ラマン増幅自体の波長依存性は殆ど無いため、波長毎の増幅効率はこの効果総損失の影響を受けると考えれば、この効果総損失分を夫々所望の増幅特性に必要な半導体レーザの出力に上乗せすることにより、各波長光をほぼ均一にラマン増幅することができ、利得の波長依存性を解消することができる。そこで、この実施形態1ではピーク波長が短い励起光ほど光パワーを高く

した。

【0016】（実施形態2）実施形態2のラマン増幅方法は、DCFにより伝送される1500nm～1600nmの信号光をほぼ均一にラマン増幅するために、DCFに入射される2以上の励起光のうち、最短ピーク波長と最長ピーク波長の中心よりも短波長の励起光の光パワーを高くするようにした方法である。具体的には図2の励起光源2から発振されてDCFに入射される励起光を1435nm、1450nm、1465nm、1480nmとし、それらの光パワーを次の様にした。即ち、DCFに入射される4つの励起光の最短ピーク波長である1435nmと、最長ピーク波長である1480nmの中心波長である1457nmよりも短波長である1435nm、1450nmの励起光のパワーを高くした。

1435nmの光パワー：563mW

1450nmの光パワー：311mW

1465nmの光パワー：122mW

1480nmの光パワー：244mW

この結果、DCFにより伝送される1500nm～1600nmの信号光のラマン増幅後の利得プロファイルは図3の様に、1540～1590nmまで約11dBの利得となり、平坦度が1dBとなった。即ち、DCF

により伝送される各波長光をほぼ均一にラマン増幅することができた。

【0017】ちなみに、励起光源から発振されてDCFに入射される励起光を1435nm、1450nm、1465nm、1480nmとし、各励起光の光パワーを563mWに均一にした場合は、DCFにより伝送される1500nm～1600nmの信号光のランマン増幅後の利得プロファイルは図4のようになった。即ち、1580nm付近で24dB程度の利得が得られているが、広帯域のゲインフラットネスは得られていない（ファイバのロス波形が裏返っている）。

【0018】（実施形態3）図5は本発明の第3の実施形態を示すものである。同図のラマン増幅方法では励起光の合波にマッハツェンダ干渉計を原理とする合波器を用いており、合波できる励起光の波長は等間隔となる。本実施形態では、合波可能な波長のうちのいくつかの波長を未使用とし、励起光帯域の短波長側の波長数を長波長側の波長数よりも多くしている。この構成において、全ての波長の励起光のパワーを同じにした場合、短波長側の励起光のトータルパワーが長波長側の励起光のトータルパワーよりも大きくなり、実施形態2のように、励起光が等間隔に配置された状況で、短波長側のパワーを長波長側のパワーよりも大きく設定することと実効的には同じとなる。従って、図5のようにすることで、一つ一つの励起光のパワーに大きな差を生じさせることなく、利得プロファイルを平坦化することができる。これは、一つの励起光からの出力パワーの上限を決めた上 *

*で、所定の帯域の利得プロファイルを平坦化し得る励起光のトータルパワーを大きくできるということであり、増幅器の利得を大きくとれることを意味する。

【0019】

【発明の効果】本発明の第1のラマン増幅方法では、DCFに入射される2以上の励起光のうちピーク波長が短い励起光ほどパワーを高くし、第2のラマン増幅方法ではDCFに入射される2以上の励起光のうち最短ピーク波長と最長ピーク波長の中心波長よりも短波長の励起光のパワーを高くしたので、いずれの場合も、非線形性の大きい光ファイバを用いても約1500nm～約1600nmの波長多重光をほぼ同じような利得で増幅することができる。言い換えれば、非線形性の高い光ファイバを用いて、短い光ファイバで必要な利得を得ることができる。また、光ファイバ長を短くすることができるので、ユニット化に適したラマン増幅器を提供することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のラマン増幅方法を実施化するための構成の一例を示す説明図。

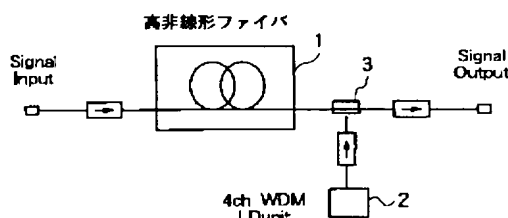
【図2】図1における励起光源を示す説明図。

【図3】本発明のラマン増幅方法によりラマン増幅された光信号の利得プロファイル。

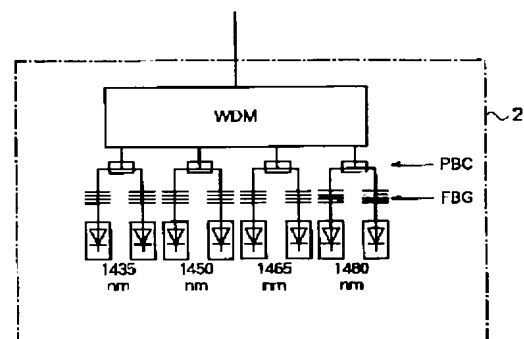
【図4】従来方法によりラマン増幅された光信号の利得プロファイル。

【図5】本発明のラマン増幅方法を実施化するための構成の他例を示す説明図。

【図1】

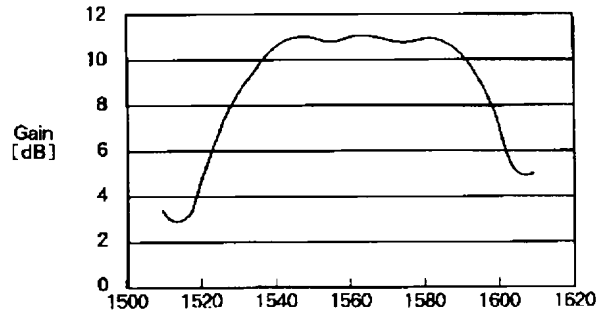


【図2】



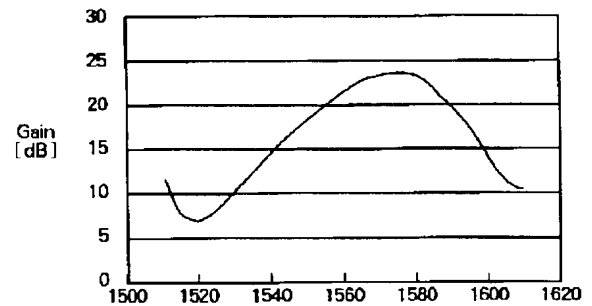
【図 3】

本発明の方法によりラマン増幅された
光信号の利得プロファイル

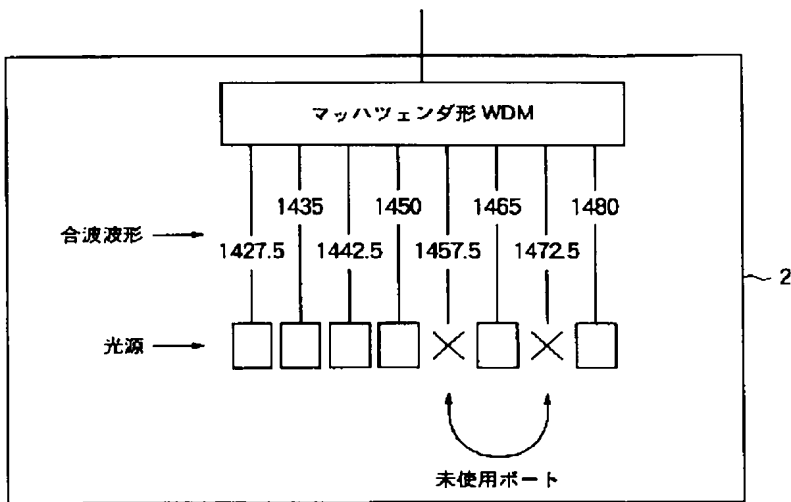


【図 4】

従来方法によりラマン増幅された
光信号の利得プロファイル



【図 5】



フロントページの続き

(72) 発明者 並木 周
東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古
河電気工業株式会社内

F ターム(参考) 2K002 AA02 AB30 DA10 EA30 HA23